

**PROCEDE ET SYSTEME DE CONTROLE DES AJOUTS DE MATIERES  
PULVERULENTES DANS LE BAIN D'UNE CELLULE D'ELECTROLYSE  
DESTINEE A LA PRODUCTION D'ALUMINIUM**

5

**Domaine de l'invention**

L'invention concerne la production d'aluminium par électrolyse ignée selon le procédé Hall-Héroult. Elle concerne plus particulièrement le contrôle des ajouts de 10 matières pulvérulentes dans un bain d'électrolyte des cellules d'électrolyse.

**Etat de la technique**

Le fonctionnement d'une cellule de production d'aluminium par électrolyse ignée 15 d'alumine dissoute dans un bain à base de cryolithe entraîne une évolution permanente de la composition du bain. D'une part, l'alumine est consommée par les réactions d'électrolyse et, d'autre part, la quantité et la composition du bain sont progressivement modifiées par des mécanismes secondaires, tels que l'absorption de constituants de la cryolithe par les parois de la cellule ou la décomposition des 20 constituants fluorés par les effets d'anode. Il est par conséquent nécessaire d'ajouter régulièrement de l'alumine et des composés de bain, tels que de la cryolithe ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) ou du fluorure d'aluminium ( $\text{AlF}_3$ ), afin de stabiliser les paramètres de fonctionnement de la cellule. L'objectif de cette stabilisation est, notamment, d'obtenir un rendement Faraday aussi élevé possible et d'éviter les effets d'anodes 25 provoqués par un défaut d'alumine dans le bain et l'accumulation de "boues" d'alumine au fond des cuves provoquée par un excès d'alumine.

L'alumine et les composés de bain sont généralement introduits dans le bain sous forme de poudre. On connaît plusieurs procédés et dispositifs pour "alimenter" des 30 cellules d'électrolyse en matières pulvérulentes de manière automatique et régulée. Par exemple, les demandes de brevet suivantes, au nom d'Aluminium Pechiney, décrivent des procédés de régulation des ajouts d'alumine, de fluorure d'aluminium

ou autre : FR 2 749 858 (correspondant au brevet US 6 033 550), FR 2 581 660 (correspondant au brevet US 4 654 129), FR 2 487 386 (correspondant au brevet US 4 431 491), FR 2 620 738 (correspondant au brevet US 4 867 851) et FR 2 821 363.

- 5 Afin de pouvoir introduire la matière pulvérulente dans le bain d'électrolyte, on équipe les cellules d'électrolyse d'un ou plusieurs distributeurs de matières pulvérulentes associés à un dispositif de perçage de la croûte d'alumine et d'électrolyte figé qui recouvre la surface du bain en fonctionnement normal. Le dispositif de perçage comporte généralement un vérin et un piqueur (ou "plongeur")  
10 fixé à l'extrémité de la tige du vérin. Le plongeur est abaissé par activation du vérin et brise la croûte d'alumine et de bain solidifié. Cette opération peut être répétée plusieurs fois et de manière régulière de manière à maintenir ouvert le trou d'introduction de matières pulvérulentes. Les demandes de brevet FR 1 457 746 (correspondant au brevet GB 1 091 373) et FR 2 504 158 (correspondant au brevet  
15 US 4 435 255) et le brevet US 3 400 062 décrivent de tels dispositifs.

Toutefois, dans certaines conditions, le dispositif de perçage ne permet pas d'assurer l'introduction de la matière pulvérulente dans le bain. En particulier, il arrive que le trou soit bouché par un pain d'alumine agglomérée avec du bain solide, ce qui entrave l'"alimentation" du bain en matières pulvérulentes. Le dispositif de perçage peut également être défectueux. Il a été proposé de prendre en compte de telles anomalies de fonctionnement par des mesures électriques aptes à détecter si le plongeur est effectivement entré en contact avec l'électrolyte. Par exemple, dans la demande de brevet FR 2 483 965 (correspondant au brevet US 4 377 452) au nom  
20 d'Aluminium Pechiney, le contact entre l'électrolyte et le plongeur est détecté par une mesure électrique entre le piqueur et la cathode. Si, à l'expiration d'un laps de temps prédéterminé, il n'y a pas eu détection d'un contact avec l'électrolyte, le système donne, par exemple, un ordre de remontée du plongeur ou d'arrêt de l'alimentation.  
25 Cette méthode présente l'inconvénient d'être sensible aux fluctuations de tension de la cellule, notamment lors des effets d'anode. Le brevet américain US 4 563 255 au nom de Swiss Aluminium décrit une solution similaire, mais plus complexe, qui utilise des mesures d'impédance.  
30

La demanderesse a cherché des moyens pour détecter et prendre en compte les anomalies de fonctionnement de l'alimentation en matières pulvérulentes d'une cellule d'électrolyse qui ne dépendent pas de mesures électriques effectuées 5 directement sur la cellule.

### Description de l'invention

L'invention a pour objet un procédé de contrôle des ajouts de matières pulvérulentes 10 dans une cellule d'électrolyse destinée à la production d'aluminium par électrolyse ignée et munie d'au moins un distributeur de matières pulvérulentes et d'au moins un dispositif de perçage comportant un actionneur et un piqueur, ladite cellule contenant un bain d'électrolyte liquide et étant conduite de manière à former une croûte d'alumine et de bain solidifié au-dessus du bain d'électrolyte liquide, procédé dans 15 lequel on forme au moins une ouverture dans ladite croûte à l'aide du dispositif de perçage et on introduit de la matière pulvérulente par au moins une ouverture suivant une procédure d'introduction des ajouts déterminée, désignée par l'expression "procédure d'alimentation normale", et caractérisé en ce que :

- à un instant  $t_0$  déterminé, on génère un signal électrique  $S$  apte à provoquer la 20 descente du piqueur à l'aide de l'actionneur,
- on mesure le moment  $t$  auquel le piqueur atteint une position basse  $P$  déterminée,
- on détermine la valeur d'au moins un indicateur de fonctionnement de l'alimentation en matières pulvérulentes donné par une fonction  $F(t_0, t)$ ,
- on détermine si le fonctionnement est anormal à partir d'au moins un critère de 25 fonctionnement et de la valeur du ou des indicateurs de fonctionnement  $F$ ,
- si le fonctionnement n'est pas jugé anormal, on maintient la procédure d'alimentation normale,
- si le fonctionnement est jugé anormal, on enclenche au moins une procédure rectificative, dite "de régularisation/normalisation", susceptible de ramener 30 l'alimentation en matières pulvérulentes dans un fonctionnement normal.

Les matières pulvérulentes sont typiquement de la poudre à base d'alumine (telle que de l'alumine pulvérulente pure ou fluorée), de la poudre de fluorure d'aluminium ( $\text{AlF}_3$ ) ou de la poudre à base de cryolithe (appelée "bain en poudre", qui peut éventuellement contenir de l'alumine et/ou un ou plusieurs autres composés).

5

Ladite procédure d'alimentation peut porter sur les ajouts de plusieurs matières pulvérulentes différentes.

10 L'invention a également pour objet un système de contrôle des ajouts de matières pulvérulentes dans une cellule d'électrolyse destinée à la production d'aluminium par électrolyse ignée et munie d'au moins un distributeur de matières pulvérulentes et d'au moins un dispositif de perçage comportant un actionneur et un piqueur, ladite cellule contenant un bain d'électrolyte liquide et étant conduite de manière à former une croûte d'alumine et de bain solidifié au-dessus du bain d'électrolyte liquide,

15 caractérisé en ce qu'il comporte :

- un moyen pour générer un signal électrique  $S$  apte à provoquer, à un instant  $t_0$  déterminé, la descente du piqueur à l'aide de l'actionneur,
- un dispositif pour mesurer le moment  $t$  auquel le piqueur atteint une position basse  $P$  déterminée,
- un moyen pour déterminer la valeur d'au moins un indicateur de fonctionnement de l'alimentation  $F(t_0, t)$  à partir de la valeur de l'instant  $t_0$  et de la valeur obtenue pour le moment  $t$ .

20 La demanderesse a eu l'idée d'utiliser un indicateur de fonctionnement fondé sur le mouvement du piqueur, et en particulier sur le temps de parcours du piqueur entre une position initiale  $P_0$  et une position déterminée  $P$ . Un tel indicateur permet d'obtenir aisément un diagnostic simple sur le fonctionnement de l'alimentation au niveau d'un piqueur donné. Le procédé de l'invention permet en outre de maintenir la surveillance du fonctionnement de l'alimentation même durant des effets d'anodes. Il

25

30 est particulièrement facile à automatiser.

L'invention est décrite en détail ci-après à l'aide des figures annexées.

La figure 1 illustre une cellule d'électrolyse typique destinée à la production d'aluminium par électrolyse ignée, vue en section verticale.

- 5 La figure 2 représente une vue intérieure partielle d'une cellule d'électrolyse typique destinée à la production d'aluminium par électrolyse ignée, vue en section verticale.

La figure 3 illustre un système de contrôle des ajouts de matières pulvérulentes selon l'invention.

10

La figure 4 illustre le fonctionnement du procédé de contrôle selon l'invention.

Les figures 5 et 6 illustrent la structure et le fonctionnement d'un dispositif de perçage apte à mettre en œuvre l'invention.

15

Tel qu'illustré à la figure 1, une cellule d'électrolyse (1) pour la production d'aluminium par électrolyse ignée, c'est-à-dire par électrolyse en sel fondu, comprend une cuve (12), des anodes (2) et des moyens d'alimentation en matières pulvérulentes (20, 30). Les anodes (2) – typiquement des anodes précuites en matériau carboné –

20 sont supportées par une tige (3) à un cadre anodique (9). La cuve d'électrolyse (12) comprend un caisson métallique (8), typiquement en acier, des éléments de revêtement intérieur (13, 14) et un ensemble cathodique (5, 15). L'ensemble cathodique (5, 15) comprend des barres de raccordement (15), appelées barres cathodiques, auxquelles sont fixés les conducteurs électriques (16, 17) servant à

25 l'acheminement du courant d'électrolyse  $I_0$ . Les éléments de revêtement (13, 14) et l'ensemble cathodique (5, 15) forment, à l'intérieur de la cuve (12), un creuset apte à contenir le bain d'électrolyte (7) et une nappe d'aluminium liquide (6) lorsque la cellule est en fonctionnement.

30 Plusieurs cellules d'électrolyse sont généralement disposées en ligne et raccordées électriquement en série à l'aide de conducteurs de liaison (16, 17). Les cellules sont

typiquement disposées de manière à former deux ou plusieurs files parallèles. Le courant d'électrolyse  $I_o$  passe ainsi en cascade d'une cellule à la suivante.

En fonctionnement, les anodes (2) sont normalement partiellement immergées dans  
5 le bain d'électrolyte liquide (7) et les cellules sont conduites de manière à former une croûte d'alumine et de bain solidifié (10) au-dessus du bain d'électrolyte. Le courant d'électrolyse  $I_o$  transite dans le bain d'électrolyte (7) par l'intermédiaire du cadre anodique (9), des tiges d'anode (3), des anodes (2) et des éléments cathodiques (5, 15). En général, l'aluminium produit par l'électrolyse de l'alumine contenue dans le  
10 bain (7) se dépose progressivement sur l'ensemble cathodique (5) et forme une nappe de métal liquide (6).

La procédure d'alimentation normale comporte typiquement l'ajout de quantités déterminées de matières pulvérulentes, à un rythme constant ou variable. Les  
15 quantités, qui sont typiquement des doses, sont en générales déterminées à partir de mesures sur la cellule, telles que des mesures de température, des mesures électriques, des analyses de la composition du bain et/ou des mesures de la hauteur de bain liquide.

20 On cherche généralement à contrôler les apports en alumine de manière à maintenir la concentration en alumine de l'électrolyte dans des limites déterminées, typiquement entre une limite supérieure et une limite inférieure. La plupart des procédés industriels connus ont recours à une évaluation indirecte de la teneur en alumine du bain d'électrolyte à l'aide d'un paramètre électrique représentatif de la  
25 concentration en alumine de l'électrolyte. Ce paramètre est généralement une résistance électrique  $R$  qui est déterminée à partir d'une mesure de la tension  $U$  aux bornes de la cellule d'électrolyse et de l'intensité du courant  $I_o$  qui la traverse. Par étalonnage on peut tracer une courbe de référence de la variation de  $R$  en fonction de la teneur en alumine et par mesure de  $R$  (à fréquence déterminée selon des méthodes  
30 bien connues) on peut connaître à tout moment la concentration d'alumine. Les demandes de brevet FR 2 749 858 (correspondant au brevet US 6 033 550), FR 2 581 660 (correspondant au brevet US 4 654 129) et FR 2 487 386 (correspondant au

brevet US 4 431 491) au nom d'Aluminium Pechiney décrivent des procédés de régulation utilisant des mesures de résistance électrique. Ces procédés utilisent les valeurs mesurées de la résistance R, et notamment l'évolution de ces valeurs, pour déterminer le taux d'alimentation en alumine à utiliser à tout moment.

5

En général, on cherche également à contrôler les apports en poudre de bain, en fluorure d'aluminium ou en tout autre composé, de manière à maintenir une quantité de bain déterminée et des propriétés physiques, chimiques et électrochimiques spécifiques (telles que la température de fusion et l'acidité) dans des limites déterminées. La plupart des procédés industriels connus pour le contrôle du bain ont recours à des mesures de température du bain et/ou à un bilan des ajouts antérieurs de bain et de fluorure d'aluminium. Les demandes de brevet FR 2 821 363 et FR 2 487 386 (correspondant au brevet US 4 431 491) au nom d'Aluminium Pechiney décrivent des procédés de régulation utilisant de telles mesures.

15

Dans le cadre de l'invention, la procédure d'introduction des ajouts déterminée peut être tout procédé de régulation des ajouts de matières pulvérulentes dans le bain d'une cellule d'électrolyse, tel que ceux décrits dans les brevets mentionnés ci-dessus.

20

En référence à la figure 2, les cellules d'électrolyse (1) aptes à la mise en œuvre du procédé de contrôle selon l'invention comportent au moins un distributeur de matières pulvérulentes (20) et au moins un dispositif de perçage (30). Ces éléments sont généralement fixés à une superstructure (4).

25

Le ou les distributeurs de matières pulvérulentes (20) comportent typiquement une trémie (21), destinée à contenir une réserve de matière pulvérulente, et une goulotte (22) fixée à la partie inférieure de la trémie et destinée à acheminer la matière pulvérulente jusqu'à proximité d'une ouverture (11) dans la croûte (10).

30

Chaque dispositif de perçage (30) comporte un actionneur (31) et un piqueur (33) (également appelé "plongeur") fixé à l'extrémité de la tige (32) de l'actionneur.

L'actionneur (31) est typiquement un actionneur pneumatique, tel qu'un vérin pneumatique.

Un distributeur de matières pulvérulentes peut être associé à un ou plusieurs dispositifs de piquage déterminés ou, inversement, un dispositif de piquage peut être associé à un ou plusieurs distributeurs de matières pulvérulentes déterminés. Les cellules d'électrolyse sont fréquemment munies d'un ou plusieurs dispositifs regroupant un distributeur de matières pulvérulentes et un dispositif de piquage ; ces dispositifs sont connus sous le nom de dispositifs de piquage et d'alimentation ("Crustbreaking and Feeding Device" en anglais).

En fonctionnement normal, au moins une ouverture (11) est formée (ou éventuellement maintenue ouverte) dans ladite croûte (10), entre les anodes (2), à l'aide du ou des dispositifs de perçage (30) et de la matière pulvérulente est introduite dans le bain d'électrolyte (7) par l'ouverture (11) (ou par au moins une ouverture lorsqu'il y en a plusieurs). Dans ce but, la tige (32) de l'actionneur (31), et donc le piqueur (33), possède au moins une première position, dite "position d'attente", et au moins une deuxième position, dite "position de perforation". Normalement, la première position est une position haute et la deuxième position une position basse.

L'activation de l'actionneur (31) provoque la descente ou la remontée de la tige (32), et donc le passage de la tige de la première à la deuxième position ou inversement. Les dimensions du dispositif sont telles que, lorsque la tige est dans la première position, le piqueur n'entrave pas l'écoulement de la matière pulvérulente sortant de la goulotte (22) et, lorsque la tige est dans la deuxième position, le piqueur (33) traverse l'épaisseur normale de ladite croûte (10), ce qui permet de former une ouverture (11) apte à l'introduction de matière pulvérulente dans le bain d'électrolyte (7).

Tel qu'illustré à la figure 3, l'actionneur (31) est activé par une alimentation en fluide (39), généralement une alimentation en air comprimé, qui est contrôlée à l'aide d'une vanne (38), typiquement une électrovanne. L'actionneur (31) est raccordé à l'alimentation (39) par au moins un conduit d'alimentation spécifique (35) qui,

typiquement, se divise en deux à proximité ou au niveau de l'actionneur de manière à pouvoir provoquer la descente et la remontée du piqueur.

Dans le cadre des procédés d'alimentation en matières pulvérulentes de cellules d'électrolyse, l'invention concerne plus spécifiquement le contrôle de l'introduction desdites matières pulvérulentes dans le bain d'électrolyte (7), qui dépend tout particulièrement de la qualité des ouvertures (11) dans la croûte de bain solidifié (10) et du fonctionnement des dispositifs de perçage (30) utilisés pour les former et les maintenir. Le procédé de contrôle selon l'invention peut être utilisé de manière intermittente (il peut, par exemple, n'être utilisé que lorsque la régulation est dans un régime continu).

Selon l'invention, dont le fonctionnement est illustré à la figure 4, on génère un signal électrique S apte à provoquer la descente du piqueur (33) à l'aide de l'actionneur (31). Ce signal est généré à un instant  $t_0$  déterminé compatible avec la régulation générale de l'alimentation en matières pulvérulentes. Le signal S prend typiquement la forme d'une marche (tel qu'illustré à la figure 4). En réaction à ce signal, le piqueur (33) est déplacé par l'actionneur (31) d'une position initiale  $P_0$  à une position finale  $P_f$ , en passant normalement par une position déterminée  $P$ , dite position basse, qui peut être différente de la position finale  $P_f$  (voir les figures 4 à 6). Selon l'invention, on mesure le moment  $t$  auquel le piqueur atteint ladite position  $P$  déterminée et on détermine la valeur d'au moins un indicateur de fonctionnement de l'alimentation F à partir de la valeur de  $t_0$  et de celle obtenue pour le moment  $t$ .

Le signal électrique S peut transmettre l'ordre de descente du piqueur par voie électrique, optique, pneumatique ou autre, généralement par l'intermédiaire d'un moyen de transmission (34) qui est illustré de manière schématique à la figure 3.

La position basse déterminée  $P$  est typiquement la position à laquelle le piqueur (33) entre en contact avec le bain d'électrolyte liquide (7) ou la position la plus basse permise par l'actionneur (31). Ces positions correspondent normalement à ladite deuxième position, c'est-à-dire la position de perforation.

La position initiale  $P_0$  du piqueur, c'est-à-dire la position du piqueur (33) au moment où l'on génère le signal S de déplacement du piqueur, est typiquement ladite position d'attente.

5

La position du piqueur (33) peut être donnée par rapport à un point de référence déterminé  $Y_0$ .

Tel qu'illustré aux figures 3 et 4, l'actionneur (31) est activé à l'aide d'un signal 10 électrique  $V_G$ , qui agit directement ou indirectement sur une vanne (38), typiquement une électrovanne. Le signal électrique  $V_G$  contient le signal S destiné à déclencher le déplacement du piqueur. La position du piqueur (33) est mesurée à l'aide d'au moins un détecteur de position (40, 40'), qui peut être intégré au dispositif de perçage (30). Le ou chaque détecteur de position (40, 40') génère un signal  $S_A$  représentatif de la 15 position du piqueur (33) ou de positions spécifiques du piqueur (33). Le signal  $S_A$  peut être un signal électrique, optique ou autre. Ce signal est ensuite utilisé pour déterminer le moment  $t$  auquel le piqueur atteint la position basse déterminée  $P$ .

Un indicateur de fonctionnement F peut être donné simplement par une fonction de 20 la différence, appelée "durée de descente" D ( $= t - t_0$ ), entre l'instant  $t_0$  et le moment t, c'est-à-dire  $F(t - t_0)$ .

Dans un mode de réalisation de l'invention, le fonctionnement peut être jugé anormal si la durée de descente D est trouvée supérieure à un seuil haut déterminé  $Sh$  dans au 25 moins  $Nh$  déterminations successives. Le nombre  $Nh$  est typiquement un nombre entier inclusivement compris entre 1 et 10.

Dans une variante de ce mode de réalisation de l'invention, le fonctionnement peut être jugé anormal si la durée de descente est trouvée supérieure à un seuil déterminé 30  $Sh'$  dans au moins  $Nh'$  déterminations sur N, c'est-à-dire si le rapport  $Nh'/N$  est supérieur à une valeur  $Rh$  donnée. Il s'agit alors d'une "densité" d'anomalies, donnée par le rapport  $Nh'/N$ , qui peut être exprimée en pourcentage.

Les seuils Sh et Sh' peuvent prendre une valeur fixe ou une valeur calculée à l'aide de plusieurs valeurs de durée D successives ou espacées. Par exemple, Sh peut être calculé par la relation  $Sh = \langle D \rangle + K$ , où  $\langle D \rangle$  est une moyenne glissante sur les Mh dernières valeurs de D, avec Mh typiquement supérieur à 10, et K est une constante destinée à éviter la détection de fausses anomalies de fonctionnement.

Dans un autre mode de réalisation de l'invention, le fonctionnement peut être jugé anormal si la durée de descente est trouvée inférieure à un seuil bas déterminé Sb dans au moins Nb déterminations successives. Le nombre Nb est typiquement un nombre entier inclusivement compris entre 1 et 10.

Afin d'augmenter la vitesse de réponse du procédé de contrôle, le fonctionnement peut être jugé anormal si le moment t ne peut pas être mesuré après un temps T supérieur à un seuil Tmax déterminé. Le seuil Tmax est typiquement compris entre 5 et 15 sec.

Dans une autre variante de l'invention, un indicateur de fonctionnement, appelé indicateur de dérive, peut être déterminé à partir d'un écart E entre au moins deux valeurs de durée D successives ou séparées par des valeurs intermédiaires. Ledit écart E peut être calculé de différentes manières. Par exemple, l'écart E peut être donné par la différence algébrique entre deux valeurs de durée D successives ou séparées par des valeurs intermédiaires. L'écart E peut également être donné par un écart moyen ou statistique entre au moins trois valeurs de durée D successives ou séparées par des valeurs intermédiaires. Le fonctionnement est typiquement jugé anormal lorsque ledit écart E est supérieur à un seuil Se déterminé.

On détermine si le fonctionnement est anormal à partir d'au moins un critère de fonctionnement et de la valeur du ou des indicateurs de fonctionnement. Si le fonctionnement n'est pas jugé anormal, on maintient la procédure d'alimentation normale ; si le fonctionnement est jugé anormal, on enclenche au moins une

procédure rectificative, dite "de régularisation/normalisation", susceptible de ramener l'alimentation en matières pulvérulentes dans un fonctionnement normal.

Ladite procédure de régularisation/normalisation comprend typiquement au moins 5 une intervention automatique ou manuelle apte à corriger le fonctionnement du dispositif de perçage (30). L'intervention manuelle comprend typiquement des opérations de maintenance. L'intervention automatique comprend typiquement des piquages successifs (c'est-à-dire une série d'activations successives et rapprochées dans le temps de l'actionneur (31)) ou une augmentation de la pression du fluide 10 injecté dans l'actionneur (31) ou une adaptation de la pression exercée par l'actionneur (31) à la valeur du moment  $t$  (et plus précisément à la durée de la descente D du piqueur (33)).

Dans un mode de réalisation avantageux de l'invention, la cellule d'électrolyse (1) 15 comporte au moins deux dispositifs de perçage (30) associés chacun à un distributeur de matières pulvérulentes distinct (20) et la procédure de régularisation/normalisation comprend une interruption, au moins temporaire, de l'alimentation par le distributeur associé au dispositif de perçage dont le fonctionnement est jugé anormal. L'alimentation en matières pulvérulentes correspondante est alors 20 avantageusement répartie sur la ou les autres distributeurs de la cellule.

De manière avantageuse, lorsque le fonctionnement d'au moins un dispositif de perçage (30) est jugé anormal, le procédé de contrôle peut comporter en outre une modification de la procédure d'alimentation normale.

25

L'invention est avantageusement mise en oeuvre à l'aide d'un système (50) de contrôle de l'alimentation en matières pulvérulentes comportant :

- un moyen (51) pour générer un signal électrique S apte à provoquer, à un instant  $t_0$  déterminé, la descente du piqueur (33) à l'aide de l'actionneur (31),

30 - un dispositif (52) pour mesurer le moment  $t$  auquel le piqueur (33) atteint une position basse P déterminée,

- un moyen (53), dit "moyen de diagnostic", pour déterminer la valeur d'au moins un indicateur de fonctionnement de l'alimentation  $F(t_0, t)$  à partir de la valeur d'un instant  $t_0$  et de la valeur obtenue pour le moment  $t$ .
- 5 Le dispositif de mesure (52) comprend typiquement au moins un détecteur de position (40) apte à détecter ladite position basse P. Le détecteur de position (40) est avantageusement apte à produire un signal  $S_A$  au moment  $t$  où le piqueur (33) atteint la position basse P déterminée. Le dispositif peut éventuellement comporter, en outre, un convertisseur (48) pour générer un signal électrique spécifique  $V_t$  à partir  
10 du signal  $S_A$ .

Le détecteur de position (40) peut être intégré au(x) dispositif(s) de perçage (30), notamment à leur(s) actionneur(s) (31), c'est-à-dire que le ou chaque dispositif de perçage (30) peut comporter au moins un détecteur de position (40) apte à détecter au moins ladite position basse. Ainsi, un actionneur (31) susceptible d'être utilisé pour mettre en œuvre l'invention comporte avantageusement au moins un détecteur de position (40) apte à détecter au moins ladite position basse P de la tige (32) de l'actionneur. Par exemple, l'actionneur (31) du ou de chaque dispositif de perçage (30) peut comporter un vérin muni dudit détecteur de position (40). Le détecteur (40)  
20 peut être, par exemple, un détecteur de fin de course.

Le (ou les) détecteur(s) de position (40) peut (peuvent) choisi(s) parmi les détecteurs mécaniques, électriques, optiques ou magnétiques et les détecteurs comportant toute combinaison de ces moyens.

25 Le dispositif de mesure (52) peut comporter au moins détecteur de position complémentaire (40'), qui peut (peuvent) être intégré(s) au(x) dispositif(s) de perçage (30). Par exemple, il peut éventuellement comporter un détecteur (40') apte à détecter une position d'attente  $P_0$  de la tige (32) de l'actionneur.

30 Les figures 5 et 6 illustrent des actionneurs (31) susceptibles d'être utilisés pour mettre en œuvre l'invention. Les actionneurs (31) sont typiquement raccordés à un

convertisseur de signal (41, 41') (tel qu'un multimètre), et un porteur de signal (45, 45') (tel qu'un câble électrique, une onde électromagnétique ou un faisceau optique) destiné à transmettre au moyen de diagnostic (53) l'information sur la position du piqueur (33), éventuellement par l'intermédiaire d'un convertisseur (48) apte à 5 générer le signal  $V_t$ .

Dans le cas illustré à la figure 5, l'actionneur (31) comporte un détecteur de position (40) continu. Ce détecteur peut comporter, par exemple, une résistance (42), un premier contact frottant (43) (typiquement fixé au corps de l'actionneur (37)), un 10 deuxième contact frottant (44) (typiquement fixé à la tige (32) ou au piston (36) de l'actionneur) et un multimètre (41).

Dans le cas illustré à la figure 6, l'actionneur (31) comporte deux détecteurs de position (40, 40') discontinus, aptes à détecter des positions spécifiques de la tige 15 (32) de l'actionneur, et donc du piqueur (33). Par exemple, chaque détecteur de position (40, 40') peut comporter un système électromécanique distinct. Chaque système comporte une tige (46, 46') et un contact ouvrant (47, 47') actionnés par le passage du piston (36) au niveau de la partie intérieure des tiges.

20 Le moyen de diagnostic (53) peut être, par exemple, un calculateur ou un comparateur C. Tel qu'illustré à la figure 3, le moyen (53) utilise typiquement le signal  $S_A$  ou  $V_t$  contenant l'information sur le moment  $t$  généré par le détecteur de position et le signal  $V_G$  contenant le signal  $S$  associé à l'instant  $t_0$ .

25 Le système de contrôle (50) selon l'invention comprend typiquement un régulateur (54), qui peut être intégré au système de régulation général de la cellule d'électrolyse (1), qui n'est pas illustré. Le générateur de signal électrique (51) est normalement contrôlé par le régulateur (54). Le régulateur (54) comprend avantageusement des moyens spécifiques pour mettre en oeuvre des interventions automatiques destinées à 30 corriger le fonctionnement d'un dispositif de perçage (30) lorsqu'un indicateur de fonctionnement  $F(t_0, t)$  révèle un fonctionnement anormal de l'alimentation. En particulier, le régulateur (54) peut posséder un programme informatique de contrôle

des interventions automatiques (ce programme peut, par exemple, générer une série de signaux d'activation successifs et rapprochés dans le temps de l'actionneur (31), afin de provoquer des piquages successifs). Le régulateur (54) peut également comporter des moyens de contrôle de la pression de fluide injectée dans le(s) 5 actionneur(s) (31) ou des dispositifs de perçage (30), afin de mettre en oeuvre une intervention automatique comprenant une modification de ladite pression.

Le procédé et le système de l'invention peuvent être utilisés pour détecter le fonctionnement anormal d'une cellule d'électrolyse ou d'une série de cellules 10 d'électrolyse.

L'invention permet d'assurer une plus grande fiabilité de l'alimentation en matières pulvérulentes des cellules d'électrolyse.

**REVENDICATIONS**

1. Procédé de contrôle des ajouts de matières pulvérulentes dans une cellule d'électrolyse (1) destinée à la production d'aluminium par électrolyse ignée et munie d'au moins un distributeur de matières pulvérulentes (20) et d'au moins un dispositif de perçage (30) comportant un actionneur (31) et un piqueur (33), ladite cellule contenant un bain d'électrolyte liquide (7) et étant conduite de manière à former une croûte (10) d'alumine et de bain solidifié au-dessus du bain d'électrolyte liquide (7), procédé dans lequel on forme au moins une ouverture 5 (11) dans ladite croûte (10) à l'aide du dispositif de perçage (30) et on introduit de la matière pulvérulente par au moins une ouverture (11) suivant une procédure d'introduction des ajouts déterminée, dite "procédure d'alimentation normale", ledit procédé étant caractérisé en ce que :
  - à un instant  $t_0$  déterminé, on génère un signal électrique S apte à provoquer la descente du piqueur (33) à l'aide de l'actionneur (31),
  - on mesure le moment  $t$  auquel le piqueur (33) atteint une position basse P déterminée,
  - on détermine la valeur d'au moins un indicateur de fonctionnement de l'alimentation en matières pulvérulentes donné par une fonction  $F(t_0, t)$ ,
  - on détermine si le fonctionnement est anormal à partir d'au moins un critère de fonctionnement et de la valeur du ou des indicateurs de fonctionnement F,
  - si le fonctionnement n'est pas jugé anormal, on maintient la procédure d'alimentation normale,
  - si le fonctionnement est jugé anormal, on enclenche au moins une procédure rectificative, dite "de régularisation/normalisation", susceptible de ramener 10 l'alimentation en matières pulvérulentes dans un fonctionnement normal.
2. Procédé de contrôle selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'un indicateur de fonctionnement est donné par une fonction  $F(t - t_0)$  de la différence, appelée 15 "durée de descente" D, entre l'instant  $t_0$  et le moment t.

3. Procédé de contrôle selon la revendication 2, caractérisé en ce que le fonctionnement est jugé anormal si la durée de descente est trouvée supérieure à un seuil haut déterminé  $Sh$  dans au moins  $Nh$  déterminations successives.
- 5 4. Procédé de contrôle selon la revendication 3, caractérisé en ce que  $Nh$  est un nombre entier inclusivement compris entre 1 et 10.
- 10 5. Procédé de contrôle selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, caractérisé en ce que le fonctionnement est jugé anormal si la durée de descente est trouvée supérieure à un seuil déterminé  $Sh'$  dans au moins  $Nh'$  déterminations sur  $N$ , c'est-à-dire si le rapport  $Nh'/N$  est supérieur à une valeur  $Rh$  donnée.
- 15 6. Procédé de contrôle selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, caractérisé en ce que les seuils  $Sh$  et  $Sh'$  prennent une valeur fixe ou une valeur calculée à l'aide de plusieurs valeurs de durée  $D$  successives ou espacées.
- 20 7. Procédé de contrôle selon l'une quelconque des revendications 2 à 6, caractérisé en ce que le fonctionnement est jugé anormal si la durée de descente est trouvée inférieure à un seuil bas déterminé  $Sb$  dans au moins  $Nb$  déterminations successives.
8. Procédé de contrôle selon la revendication 7, caractérisé en ce que  $Nb$  est un nombre entier inclusivement compris entre 1 et 10.
- 25 9. Procédé de contrôle selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que le fonctionnement est jugé anormal si le moment  $t$  ne peut pas être mesuré après un temps  $T$  supérieur à un seuil  $T_{max}$  déterminé.
- 30 10. Procédé de contrôle selon la revendication 9, caractérisé en ce que le seuil  $T_{max}$  est compris entre 5 et 15 sec.

11. Procédé de contrôle selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce qu'un indicateur de fonctionnement, appelé indicateur de dérive, est déterminé à partir d'un écart E entre au moins deux valeurs de durée D successives ou séparées par des mesures intermédiaires.

5

12. Procédé de contrôle selon la revendication 11, caractérisé en ce que ledit écart E est donné par la différence algébrique entre deux valeurs de durée D successives ou séparées par des mesures intermédiaires.

10 13. Procédé de contrôle selon la revendication 11, caractérisé en ce que ledit écart E est donné par un écart moyen ou statistique entre au moins trois valeurs de durée D successives ou séparées par des mesures intermédiaires.

15 14. Procédé de contrôle selon l'une quelconque des revendications 11 à 13, caractérisé en ce que le fonctionnement est jugé anormal lorsque ledit écart E est supérieur à un seuil Se déterminé.

20 15. Procédé de contrôle selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que ladite procédure de régularisation/normalisation comprend au moins une intervention automatique ou manuelle apte à corriger le fonctionnement du dispositif de perçage (30).

25 16. Procédé de contrôle selon l'une quelconque des revendications 1 à 15, caractérisé en ce que ladite cellule (1) comporte au moins deux dispositifs de perçage (30) associés chacun à un distributeur de matières pulvérulentes distinct (20) et en ce que ladite procédure de régularisation/normalisation comprend une interruption, au moins temporaire, de l'alimentation par le distributeur de matières pulvérulentes associé au dispositif de perçage dont le fonctionnement est jugé anormal.

17. Procédé de contrôle selon la revendication 16, caractérisé en ce qu'il comporte une répartition de l'alimentation en matières pulvérulentes sur le ou les autres distributeurs de la cellule.
- 5    18. Procédé de contrôle selon l'une quelconque des revendications 1 à 17, caractérisé en ce que, lorsque le fonctionnement d'au moins un dispositif de perçage (30) est jugé anormal, il comporte en outre une modification de la procédure d'alimentation normale.
- 10    19. Procédé de contrôle selon l'une quelconque des revendications 1 à 18, caractérisé en ce que la position basse déterminée est la position à laquelle le piqueur (33) entre en contact avec le bain d'électrolyte liquide (7).
- 15    20. Procédé de contrôle selon l'une quelconque des revendications 1 à 18, caractérisé en ce que la position basse déterminée est la position la plus basse permise par l'actionneur (31).
- 20    21. Procédé de contrôle selon l'une quelconque des revendications 1 à 20, caractérisé en ce que le ou chaque dispositif de perçage (30) comporte au moins un détecteur de position (40) apte à détecter au moins ladite position basse.
- 25    22. Procédé de contrôle selon la revendication 21, caractérisé en ce que l'actionneur (31) du ou de chaque dispositif de perçage (30) comporte au moins un vérin muni dudit détecteur (40).
23. Procédé de contrôle selon la revendication 22, caractérisé en ce que ledit détecteur (40) est un détecteur de fin de course.
- 30    24. Procédé de contrôle selon l'une quelconque des revendications 21 à 23, caractérisé en ce que le détecteur de position (40) est choisi parmi les détecteurs mécaniques, électriques, optiques ou magnétiques et les détecteurs comportant toute combinaison de ces moyens.

25. Procédé de contrôle selon l'une quelconque des revendications 1 à 24, caractérisé en ce que le signal électrique S transmet l'ordre de descente du piqueur par voie électrique, optique ou pneumatique.

5

26. Procédé de contrôle selon l'une quelconque des revendications 1 à 25, caractérisé en ce que les matières pulvérulentes sont choisies dans le groupe constitué des poudres à base d'alumine, des poudres de fluorure d'aluminium et des poudres à base de cryolithe.

10

27. Système (50) de contrôle des ajouts de matières pulvérulentes dans une cellule d'électrolyse (1) destinée à la production d'aluminium par électrolyse ignée et munie d'au moins un distributeur de matières pulvérulentes (20) et d'au moins un dispositif de perçage (30) comportant un actionneur (31) et un piqueur (33), ladite cellule contenant un bain d'électrolyte liquide (7) et étant conduite de manière à former une croûte d'alumine et de bain solidifié (10) au-dessus du bain d'électrolyte liquide (7), caractérisé en ce qu'il comporte :

15

- un moyen (51) pour générer un signal électrique (S) apte à provoquer, à un instant  $t_0$  déterminé, la descente du piqueur (33) à l'aide de l'actionneur (31),
- un dispositif (52) pour mesurer le moment  $t$  auquel le piqueur (33) atteint une position basse P déterminée,
- un moyen (53), dit moyen de diagnostic, pour déterminer la valeur d'au moins un indicateur de fonctionnement de l'alimentation  $F(t_0, t)$  à partir de la valeur d'un instant  $t_0$  et de la valeur obtenue pour le moment  $t$ .

20

25

28. Système de contrôle (50) selon la revendication 27, caractérisé en ce que le dispositif de mesure (52) comporte au moins un détecteur de position (40) apte à détecter ladite position basse P.

30

29. Système de contrôle (50) selon la revendication 28, caractérisé en ce que ledit détecteur (40) est intégré au(x) dispositif(s) de perçage (30).

30. Système de contrôle (50) selon la revendication 29, caractérisé en ce que ledit détecteur (40) est intégré à l'actionneur (31) de chaque dispositif de perçage (30).
  31. Système de contrôle (50) selon la revendication 30, caractérisé en ce que  
5 l'actionneur (31) comporte un vérin muni dudit détecteur (40).
  32. Système de contrôle (50) selon l'une quelconque des revendications 28 à 31, caractérisé en ce que ledit détecteur (40) est un détecteur de fin de course.
- 10 33. Système de contrôle (50) selon l'une quelconque des revendications 28 à 32, caractérisé en ce que le détecteur (40) est choisi parmi les détecteurs mécaniques, électriques, optiques ou magnétiques et les détecteurs comportant toute combinaison de ces moyens.
- 15 34. Système de contrôle (50) selon l'une quelconque des revendications 27 à 33, caractérisé en ce que le système de contrôle (50) selon l'invention comprend un régulateur (54).
- 20 35. Système de contrôle (50) selon la revendication 34, caractérisé en ce que le régulateur (54) comprend des moyens spécifiques pour mettre en oeuvre des interventions automatiques destinées à corriger le fonctionnement d'un dispositif de perçage (30) lorsqu'un indicateur de fonctionnement  $F(t_0, t)$  révèle un fonctionnement anormal de l'alimentation.
- 25 36. Système de contrôle (50) selon l'une quelconque des revendications 27 à 35, caractérisé en ce que les matières pulvérulentes sont choisies dans le groupe constitué des poudres à base d'alumine, des poudres de fluorure d'aluminium et des poudres à base de cryolithe.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**